

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

**Problematika stanovení průměrné teploty spalin na výstupu z
kotle**

Determinations of Average Temperature of Waste Gases on Boiler
Output

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

Student:

Filip Knotek

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Knotek**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3907R009 Provoz energetických zařízení**
Téma: **Problematika stanovení průměrné teploty spalin na výstupu z kotle**
Determinations of Average Temperature of Waste Gases on Boiler Output

Zásady pro vypracování:

- 1) Studie zaměřená na problematiku měření teplot spalin v kouřovodech velkých rozměrů, s volbou typu teplotních čidel.
- 2) Popis zařízení a nutných měřicích míst pro stanovení teploty spalin na výstupu z kotle.
- 3) Návrh systému kontinuálního snímání měřených teplot.
- 4) Vyhodnocení investičních nákladů nutných pro realizaci navržené varianty kontinuálního síťového měření teplot spalin na výstupu z kotle.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] RAJNIAK I.: Tepelno energetické a emisné merania. Bratislava 1997, ISBN 80-88683-20-3.
- [2] SERBOUSEK A.: Přístrojová technika pro měření čistoty ovzduší. VŠB 1992, ISBN 80-7078-136-x.
- [3] ČSN ISO 9096: Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí - manuální gravimetrická metoda. ČNI Praha 1998.
- [4] ČSN EN 60 584-1: Termoelektrické články. ČNI Praha 1997.
- [5] Zákon MŽP ČR č.201/2012 Sb. O ochraně ovzduší.

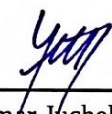
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014





prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 19. 5. 2014


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo na nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́jednáno, že s VŠB-TUO, в případě зájму з její strany, uzavру лицен́ні сmlouvou s oprávněním užítі dílo в rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́jednáno, že užítі své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci к jejíму využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna в takovém případě ode mne požadovat přіměřený přіspěvek на úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO на vytvoření díla vynalóжены (až до jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., о vysokých školách о změně а дополнєні dalších zákonů (закон о vysokých školách), в зне́ні поздє́jších п́едписů, без о́hledu на výsledek její обhajoby.

V Ostravě: 19. 5. 2014



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Filip Knotek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dolní 82, 700 30, Ostrava - Zábřeh

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Knotek, F. *Problematika stanovení průměrné teploty spalin na výstupu z kotle: bakalářská práce*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 42 s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá problematikou stanovení průměrné teploty spalin na výstupu z kotle. V úvodní části jsou uvedeny důvody, kvůli kterým je třeba znát teplotu spalin v kouřovodu větších rozměrů. Dále tato práce zahrnuje popis měřicích zařízení používaných k diagnostice spalin a jejich principy. Druhá polovina práce je věnována návrhu měřicích míst ke stanovení průměrné teploty v průřezu kouřovodu. V této části je popsán návrh celého systému kontinuálního měření spalin, který by byl schopen zapisovat data do počítače. V závěru se práce věnuje finanční stránce celého návrhu. Výstupem práce je investiční částka potřebná k realizaci navrženého systému.

ANNOTATION OF THESIS

Knotek, F. *Determinations of Average Temperature of Waste Gases on Boiler Output*. Ostrava: Institute Of energetics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 42 p. Thesis head: Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

This bachelor thesis is dealing with the issue of determination of an average temperature of gases on the boiler output. In the introductory part are shown the reasons why it is important to have readings on average temperature in large sized chimneys. Next part contains information about measuring devices for gas diagnostics and explanation of their principles.

The second half of thesis is dedicated to design of measuring points needed for determination of an average temperature. In this part, the design of the whole system for continuous measurement of gases that is able to enter the data into a computer, is described. The ending is dedicated to financial aspect of the design. The last part contains evaluation capital expenditure necessary for realization of whole designed system.

Obsah

Seznam použitého značení	7
Úvod.....	8
1 Cíle bakalářské práce	9
2 Problematika měření tepelně technických parametrů spalin.....	10
2.1 Teplota	10
2.2 Tlak	15
2.3 Rychlost Proudění	18
2.4 Složení spalin.....	23
3 Volba měřicího profilu a měřicích míst podle ČSN ISO 9096	27
3.1 Stanovení množství a umístění měřicích míst	28
3.2 Stanovení průměrné teploty z naměřených hodnot.....	29
4 Návrh systému kontinuálního měření teplot v kouřovodu.....	29
4.1 Měřicí ústředna	29
4.2 Návrh termočlánků	32
4.3 Finanční zhodnocení návrhu	34
Závěr	36
Seznam použité literatury	37

Seznam použitého značení

Označení	Název veličiny	Jednotky
D_h	Hydraulický průměr	[m]
K	Konstanta sondy	[-]
L	Délka	[m]
P_p	Příkon	[kW]
P_v	Výkon	[kW]
R	Vnitřní odpor měřícího přístroje	[Ω]
S_k	Obsah plochy kouřovodu	[m ²]
U_t	Termoelektrické napětí	[mV]
Z	Energetické ztráty	[W]
e	Napětí na termočláunku	[mV]
n	Počet měřících míst	[-]
p_c	Celkový tlak	[Pa]
p_d	Dynamický tlak	[Pa]
r	Odpor kompenzačního vedení termočláunku	[Ω]
t_{sp}	Teplota spalín	[°C]
t_i	Teplota spalín v měřeném bodě	[°C]
η	Účinnost	[-]
ρ	Měrná hmotnost	[kg.m ⁻³]

Úvod

Tato bakalářská práce pojednává o problematice určování průměrné teploty spalin na výstupu z kotle. Jejím náplní je vysvětlit metody měření, navrhnout systém, který by byl schopen odebírat teplotní hodnoty spalin a přenášel je v podobě digitálního signálu do počítače. V práci je vypsán seznam položek nutných k realizaci tohoto systému, které dají finanční částku nutnou k realizaci tohoto systému. Měření teploty je určeno pro kouřovody větších rozměrů, jako je například u kotle K3, v podniku Energetika Třinec, a.s. (1,3x1,4 m).

Určení teploty spalin úzce souvisí s optimalizací provozu kotlů a potvrzení záruk. Cílem optimalizace je dosažení maximální možné účinnosti, udržení emisí CO a oxidů dusíku dle emisních limitů, prodlužování doby mezi odstávkami kotlů a prodloužení životnosti. Zkrátka nám v tomto případě teplota spalin udá informace týkající se spalovacího procesu. Spaliny v kouřovodech na výstupu nejsou v drtivé většině homogenní, to znamená, že v každém ze sledovaných průřezů v určitých bodech vykazují různá složení a teploty. Rychlost proudění spalin taky není ve všech místech průřezu konstantní.

Pro stanovení tepelné účinnosti nepřímou metodou, dle ČSN EN 12952 – 15, je třeba znát průměrnou teplotu spalin s dostačující přesností. S touto hodnotou můžeme počítat velikost ztráty fyzickým teplem spalin (komínové ztráty), ztráty radiací a ztráty nedopalem tuhých zbytků. Při měření v průmyslových podmínkách je třeba dbát na to, že parní výkon kotle kolísá z důvodu nehomogenity paliva. Proto tedy zjišťujeme vážený průměr teploty, který je určen ze všech daných měřících míst v celém průřezu kouřovodu. Z hlediska bezpečnosti a prodloužení životnosti kouřovodu je třeba se vyvarovat teploty rosného bodu. Zároveň je nežádoucí, aby teplota spalin byla vyšší, než je potřeba, neboť by vznikalo mnohem více odpadního tepla a celková spotřeba paliva by se také navýšila.

Měření tedy souvisí jak s nároky na energetickou účinnost, které nejsou malé, tak na dodržování legislativy pro životní prostředí podle zákona č. 86/2002Sb.. Ochlazení spalin v kouřovodu by mělo být kontrolované.

1 Cíle bakalářské práce

Cílem této práce je navrhnout soustavu pro síťové měření teplot spalín na kouřovodu za výstupem z kotle tak, aby provozovateli poskytovala relevantní informace ohledně teploty spalín. Je důležité předcházet nežádoucímu ochlazování spalín. A to převážně v zimním období, kdy jsou ztráty na stěnách kouřovodu nejvyšší. Tentýž problém nastává při minimálních výkonech kotle. Nežádoucí efekt je ten, že po snížení teploty dochází ke kondenzaci vodní páry ze spalín na stěnách kouřovodu. Zamezením tohoto problému prodloužíme životnost spalovacího traktu o mnoho let.

Spaliny vzniklé z paliv, jako jsou ropa, olej, uhlí, štěpka, obsahují oxidy síry (SO_2 , SO_3 ...). Při poklesu teploty se oxidy síry slučují s párou a vzniká kyselina sírová (H_2SO_4), která postupně nabývá koncentrace. Pro představu, šedesáti procentní koncentrace dosáhne H_2SO_4 už při teplotě 20 - 30°C pod teplotou rosného bodu spalín.

Zabránit korozi lze těmito způsoby:

- Řízením spalovacího procesu s minimálním přebytkem vzduchu
- Udržovat teploty stěn kouřovodu na dané hodnotě
- Použít drahé materiály odolné vůči korozi, nanesení ochranné vrstvy nebo nátěru, přidáním aditiv do paliva

Díky naměřeným hodnotám lze vyčíslit energetickou účinnost nepřímou metodou. [2]
Rovnice pro výpočet účinnosti nepřímou metodou:

$$P_p = P_v + \sum_1^i Z_i \quad [\text{W}] \quad (1.1)$$

kde:

$$P_p \dots\dots \text{Příkon} \quad [\text{W}]$$

$$P_v \dots\dots \text{Výkon} \quad [\text{W}]$$

$$Z_i \dots\dots \text{Ztráty} \quad [\text{W}]$$

S použitím definice účinnosti lze vyjádřit

$$\eta = \frac{P_v}{P_p} = \frac{P_p - \sum_1^i Z_i}{P_p} = 1 - \frac{\sum_1^i Z_i}{P_p} \quad [-] \quad (1.2)$$

zlomek $\frac{\sum_1^i Z_i}{P_p}$ představuje poměrné ztráty (značíme ξ) připadající na jednotku příkonu.

2 Problematika měření tepelně technických parametrů spalin

Tato kapitola popisuje metody a princip měření tepelně technických parametrů. Jsou to teplota, tlak, rychlost proudění a složení spalin. Jednotlivé metody měření se principiálně liší a tyto veličiny s jejím určením souvisí. V následujících podkapitolách je uvedeno jak.

2.1 Teplota

Teplota jako stavová veličina je mírou velikosti neuspořádaného pohybu molekul. Její přímé měření není možné. Určuje se podle změny fyzikálních vlastností vhodné látky, která je určitým způsobem ve styku s tělesem anebo prostředím, kterého je teplotu třeba měřit.

Metody měření lze všeobecně rozdělit na:

- měření dotykovými teploměry
- měření bezdotekovými teploměry
- měření speciálními metodami

Nyní budou popsány teploměry používané k diagnostice spalin.

Teploměry	Rozsah (°C)	Potřeba dalšího přístroje	Možnost dálkového měření
Dotykové			
Skleněné s náplní:			
pentanu	-200 až 30	ne	ne
lihový	-170 až 70	ne	ne
toluenu	-90 až 100	ne	ne
rtuti	-38 až 800	ne	ne
Tyčové dilatační	0 až 1 000	ne	ne
Bimetalové dilatační	-50 až 600	ne	ne
Odporové platinové	-200 až 650	ano	ano
Odporové termistorové	-200 až 200	ano	ano
Termoelektrické	-200 až 1600	ano	ano
Bezdotykové			
Pyrometry jasové	600 až 3500	ne	ne
Pyrometry barvové	1000 až 3500	ne	ne
Pyrometry termoelektrické	50 až 3500	ano	ano
Pyrometry fotoelektrické	300 až 4000	ano	ano
Teploměrné tužky	65 až 700	ne	ne
Teploměrné barvy	40 až 1350	ne	ne
Kovové teploměrné tělíska	100 až 1600	ne	ne
Segerovy žároměrky	600 až 2000	ne	ne

Tab. 1.1 Přehled teploměrů a metod měření teploty nejčastěji používaných v energetice [1]

2.1.1 Odporové teploměry

Využívá změnu velikosti elektrického odporu kovů a polovodičů v závislosti na změně jejich teploty. Odpor kovů a slitin se vzrůstající teplotou roste, říká se jim tedy „pozistory“ (PTC). U některých polovodičů elektrický odpor se vzrůstající teplotou klesá, proto název „negastory“ (NTC).

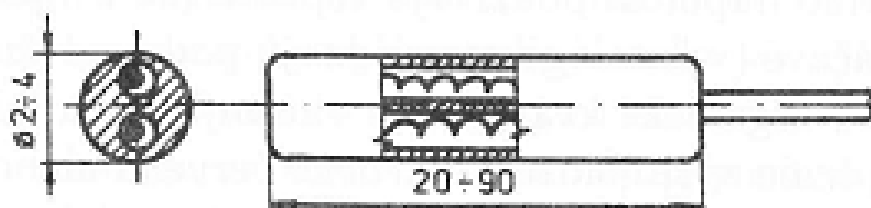
K výrobě odporových teploměrů se používají tyto materiály:

Materiál	Rozsah [°C]
Platina	200 - 800
Nikl	70 - 150
Železo	0 - 150
Měď	50 - 150
Polovodiče	80 - 200

Tab. 1.2 Přehled materiálů pro odporové teploměry [1]

Hlavní kritéria při hodnocení odporových teploměrů:

- **přesnost** – Jedná se o shodu závislosti teploty na odporu s hodnotami, které stanovuje ČSN
- **odporový poměr** – Poměr hodnoty měřicího odporu při teplotě 100 °C k jeho odporu při 0°C.
- **stabilita** – Vyjadřuje kolísání hodnoty základního odporu po teplotních cyklech.
- **maximální měřicí proud** – Průchodem elektrického proudu měřicím odporem se odpor zahřívá.
- **schopnost odolávat otřesům**

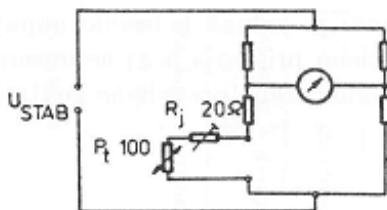


Obr. 1.1 Odporové tělísko keramické [1]

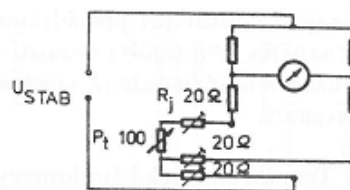
Obal tvoří keramický váleček, ve kterém jsou dva, nebo čtyři kanálky, ve kterých jsou ke stěnám připevněny spirálky z platinového drátku. Měřicím odporem jsou dvě spirály, spojené na jednom konci. Na volných koncích spirál jsou přivařené vývody z platiny. Oba dva konce keramického válečku jsou uzavřeny glazurou.

Zapojení odporových teploměrů [1]:

Můstkové zapojení



Obr. 1.2a Schéma se dvěma vodiči



Obr. 1.2b Schéma se třemi vodiči

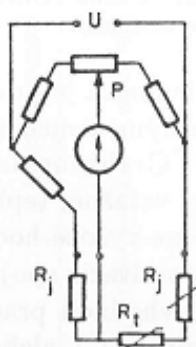
Snímače teploměrů se spájí s měřicím přístrojem dvěma (obr. 1.2a) nebo třemi (obr. 1.2b) vodiči.

Při *dvojvodičovém zapojení* má změna odporu spojovaného vedení vliv na měřicí hodnotu, proto je toto zapojení vhodné pouze pro krátké vzdálenosti mezi snímačem a přístrojem a při poměrně stálé teplotě prostoru, ve kterém se nachází spojovací vedení.

Pro *třívodičové zapojení* můžeme vliv změny teploty okolí zanedbat. Změny do 20 °C, při délce spojovacího vedení do 1 000 m a měřené teploty 100 °C nepřekročí nejistoty měření více jak $\pm 0,5$ °C.

Proměnný odpor „ R_j “ nastaví odpor venkovní měřicí smyčky tak, aby měřicí přístroj ukazoval teplotu prostředí, ve kterém je umístěný snímač.

Můstkové zapojení nulovou metodou



Obr. 1.3 Schéma zapojení nulovou metodou [1]

Toto zapojení je určeno pro přesnější měření. Při jednorázovém měření se používají můstky vyvažovány ručně, při kontinuálním měření můstky vyvažované automaticky. Nulový můstek se nemusí napájet stabilizovaným zdrojem, protože ve vyváženém stavu měřicím

přístrojem neprotéká proud. Ručně vyvažujeme pomocí potenciometru „P“, jehož stupnice je kalibrována ve °C. Při instalaci odporových teploměrů je třeba dbát na to, aby byl celý měřicí odpor vystaven působení teploty v místě měření. Odporové teploměry vyžadují napájecí zdroj.

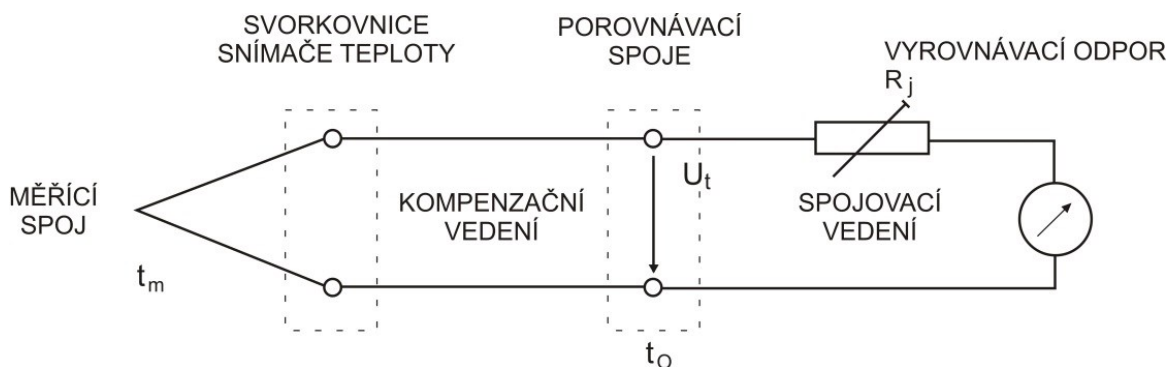
2.1.2 Termoelektrické teploměry

Při měření termočlánky se využívá termoelektrický jev. Jeho podstatou je, že v obvodě složeného ze dvou vodičů různých materiálů (Ni-Cr, Ni-Al a další.), které jsou na konci svařeny, jsou umístěny v prostředí s různými teplotami. Tímto vzniká elektromotorická síla.

Termočlánek	T (Cu-ko)	J (Fe-ko)	K (ch-a)	S (PtRh-Pt)	B (PtRh 30-PtRh6)
Rozsah použití	-200 až 400 °C	-200 až 600 °C	-50 až 1000 °C	0 až 1300 °C	1000 až 1600 °C
Termoelektrické napětí	4,25	5,37	4,8	0,64	
Dovolená odchylka (°C)	podle údajů od výrobce	-100 až 400 ± 3 °C	do 400°C, ±4°C	do 600°C, ±3°C	do 300°C, potlačený průběh
Barevné označení	hnědý	modrý	žlutý (NiCr-Ni zelený)	bílý	
Odolnost v oxidačním prostředí	malá	malá, musí se chránit	velká	velká, nad 1200°C se musí chránit	velká
Odolnost v redukčním prostředí		velká	malá, při vyšších teplotách es musí chránit	malá, musí se chránit	malá, musí se chránit
Poznámka		malá odolnost v plynech s obsahem SO ₂ a SO ₃		chránit před Si, P a parami kovů	

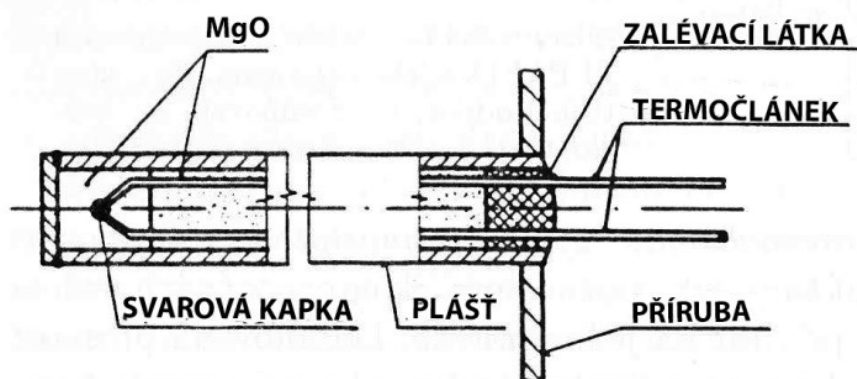
Tab. 1.3 Přehled vlastností průmyslově vyráběných termočlánků [1]

Spojené konce se umístí do prostředí s měřenou teplotou, je to tedy měřicí spoj. Volným koncům, na kterých je měřeno termoelektrické napětí, říkáme porovnávací spoj. Termoelektrické napětí U_t , jehož hodnota je úměrná rozdílu teplot $t_m - t_o$, se přivádí kompenzačním a měděným vedením na měřicí přístroj se stupnicí kalibrovanou ve °C. Při měření se porovnávací spoje musí udržovat na konstantní, tzv. vztažné teplotě. Teplota svorkovnice termočlánku může dosáhnout poměrně vysokých hodnot (až 200°C). Porovnávací spoje se proto umísťují kompenzačním vedením do míst s vhodnou pracovní teplotou, kde se udržují na konstantní teplotě (např. 0°C), anebo se kompenzuje vliv změn teploty okolí elektrickým obvodem. Kompenzační vedení by mělo mít podobné termoelektrické vlastnosti jako termočlánek.



Obr. 1.4 Schéma obvodu termočlánu [1]

Na tomto obrázku můžeme vidět řez plášťovým termočlánekem. V kovové trubičce je izolačním materiálem (např. MgO) jeden, dva nebo tři páry termočlánekových drátů. Konce drátů termočlánu jsou zavařeny v ochranné atmosféře. Konec trubičky je také zavařen.



Obr. 1.5 Řez plášťovým termočlánekem [1]

Měření termoelektrického napětí (Výchylková metoda) [1]

Údaj měřicího přístroje se rovná hodnotě: $e = U_t \frac{R}{R+r}$ [mV] (1.3)

U_t termoelektrické napětí [mV]

r odpor termočlánu, kompenzačního a spojovacího vedení [Ω]

R vnitřní odpor měřicího přístroje [Ω]

Jako měřicí přístroje se používají milivoltmetry, které mají pro určitý typ termočlánu stupnici kalibrovanou ve $^{\circ}\text{C}$.

2.2 Tlak

Základní jednotkou tlaku je pascal (Pa) – je to tlak, který vyvolá síla 1 newtonu, působící kolmo a rovnoměrně na plochu 1 m^2 . Při měření a vyhodnocování je třeba vždy uvést, jestli jde o absolutní tlak, přetlak nebo podtlak (vzhledem k atmosféře).

Pro měření rozdělujeme tlak na 3 pojmy:

- **Absolutní tlak** – Je roven relativnímu tlaku plus atmosferický tlak.
- **Relativní tlak** – Vůči atmosferickému tlaku, je rozdílem mezi absolutním a atmosferickým tlakem
- **Diferenční tlak** – Je to rozdíl tlaku mezi různými dvěma prostředími.

Tlakoměry	Rozsah (Pa)	Informativní maximální chyba (%)
Bolometrické vakuometry	$10^{-8} - 10^{-1}$	1 až 2
Kompresní vakuometry	$10^{-4} - 10^{-1}$	cca 5
Kapalinové	$10^{-1} - p_b$ (barometrický)	0,1 až 1
Membránové deformační	$10^{-1} - 10^6$	1,5 až 4
Trubicové deformační	$10^3 - 10^{10}$	0,6 až 4
Vlnovcové deformační	$10^3 - 10^8$	1,5 až 4
Pístové	$p_b - 10^{12}$	0,02 až 0,1
Odporové	$10^7 - 10^{12}$	cca 3

Tab. 1.4 Přehled tlakoměrů a jejich rozsahů [1]

Nyní budou popsány tlakoměry vhodné pro měření spalín.

2.2.1 *Elementární mikromanometry*

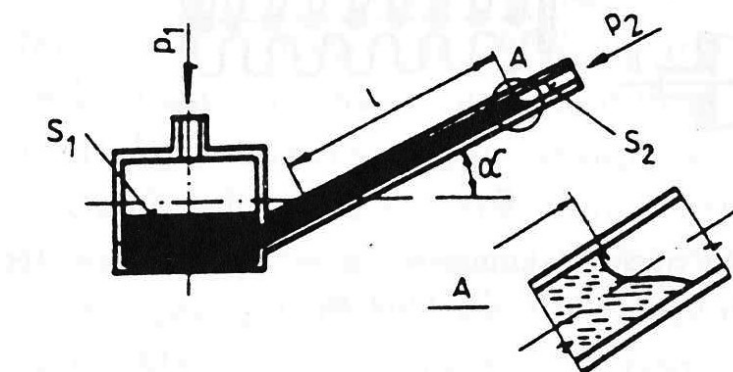
Mikromanometry jsou přístroje na měření malých tlaků. V podstatě jsou to nádobkové tlakoměry, u kterých můžeme rameno sklánět ze svislé polohy a tím zvyšovat jejich citlivost. Při dostatečně malém poměru průřezů $\frac{S_2}{S_1} \leq 400$ je možno změnu výšky hladiny průřezu S_1 zanedbat a odečíst pouze změnu výšky hladiny v průřezu S_2 . [1]

Měřený tlak je daný vztahem [1]: $\Delta p = (\rho_2 - \rho_1)gL \left(\frac{s_2}{s_1} + \sin \alpha \right)$ [Pa] (1.3)

ρ_1 měrná hmotnost prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

ρ_2 měrná hmotnost náplně [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

L délka sloupce v trubici [m].



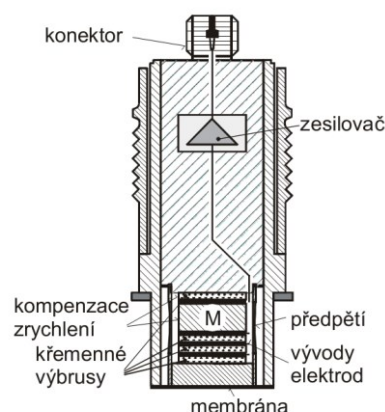
Obr. 1.6. Principiální schéma mikromanometru [1]

Toto je jedno z možných provedení. Běžné výrobní délky trubic jsou 200 a 500 mm. Vhodnou náplní je zabarvený alkohol. Před měřením je nutno pomocí zabudované vodováhy kalibrovat nulový sloupec kapaliny. Rozsahy měření se nastavují sklápěním ramena

2.2.2 Elektronické mikromanometry

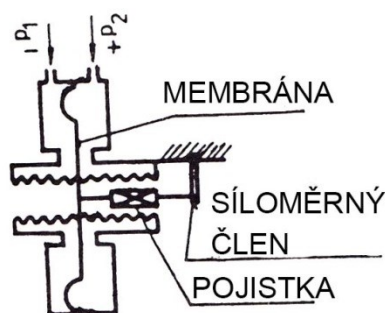
Mezi moderní manometry patří elektronické přístroje, které mají přesnost do $\pm 1 \%$. Jsou to přenosná zařízení pro měření malých tlaků. Provedení je, buď s analogovou, anebo digitální indikací. Výhodou digitálních manometrů je snadná obsluha a přehledný číselný zápis s nastavitelnými parametry. Další výhodou je možnost zapisování informací do elektronické paměti a data použít k následnému vyhodnocení.

Na membránu působí tlaková síla, která je následně přenášena na snímač. Ke snímání této síly se obvykle využívá piezoelektrický senzor (viz. Obr. 1.7). Na tomto principu většinou fungují digitální manometry.



Obr. 1.7 Piezoelektrický senzor tlaku [4]

Piezoelektrické senzory jsou založeny na tzv. přímém piezoelektrickém jevu. Jde o jev fyzikální, při němž mechanická deformace krystalu některých krystalických dielektrických látek způsobí dipólový elektrický moment objemového elementu. Elektrické momenty všech objemových elementů způsobí polarizaci krystalu. Hodnota elektrické polarizace je číselně rovna fiktivnímu vázanému náboji na jednotkové ploše povrchu, který je kolmý ke směru vektoru polarizace. Po přiložení elektrod k povrchu krystalu vzniknou indukci na těchto vodivých elektrodách volné náboje. Děj je vratný, tj. přestane-li mechanické napětí působit, vrací se dielektrikum do původního stavu. [4]



Obr. 1.8 Schéma snímače pro malé a velmi malé tlaky [1]

Rozsah měření je daný velikostí membrány a rozsahem měření siloměrného členu. Používá se membrána s tuhým středem, pružná vlna membrány je z nekovového materiálu. Jako ochrana systému se používá pružinová pojistka, která v případě přetížení zbrzdí náraz tuhého středu do volného konce nosníku. Utěsnění komor zabezpečují dva vlnovce. [1]

Kromě piezoelektrického převodníku tlakové síly se používá princip magnetický, kapacitní a tenzometrický.



Obr. 1.9 Diferenční manometr HD-700 [3]

Další provedení je manometr jako součástí multifunkčního měřicího přístroje, který je schopen měřit více veličin, dle vybavenosti. Mezi výrobce takovýchto zařízení patří firmy jako Extech Instruments, Testo a Kimo Instruments.

2.3 Rychlost Proudění

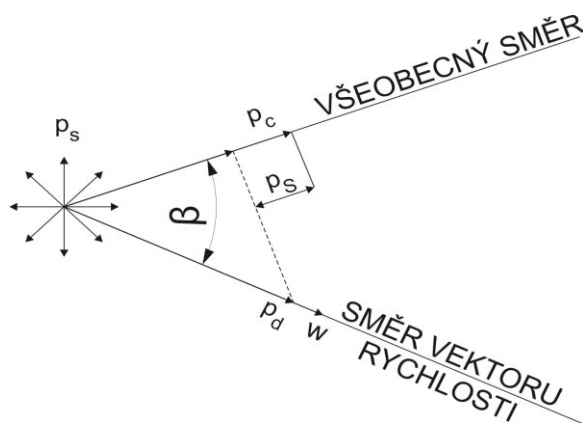
Při většině provozních měření nemůžeme předpokládat rovnoměrný rychlostní profil, a proto je v některých případech třeba měřit také rychlost proudění. To platí při měření rychle proudících plynů, kde by chyba měření byla příliš velká. K určení rychlosti proudění spalín se nejčastěji používají vrtulkové anemometry a rychlostní sondy (Prandtlova sonda, Klínová sonda).

Měření rychlosti proudění je důležité pro výpočet objemového množství spalín, které proteklo kouřovodem, což je zásadní pro výpočty složení spalín.

2.3.1 Rychlostní sondy

Tyto sondy měří dynamický tlak v proudícím médiu. Jsou nejvhodnější pro měření rychlostí nad 5 m.s^{-1} při dynamickém tlaku $10 - 15 \text{ Pa}$. Snáší provozní podmínky až do teploty $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Skalární velikost celkového tlaku „ p_c “ v libovolném směru je dána součtem tlaků statického „ p_s “ a průmětu dynamického tlaku „ p_d “ do daného směru. (obr. 2.1) [1]



Obr. 2.1 Vektorové zobrazení tlaku v proudící kapalině [1]

vztah pro maximální hodnotu celkového tlaku pro úhel $\beta = 0^\circ$ [1]:

$$p_c = p_s + p_d \cdot \cos \beta = p_s + \frac{1}{2} \cdot \rho \omega^2 \cdot \cos \beta \quad [\text{Pa}] \quad (1.4)$$

p_s statický tlak [Pa],

p_d dynamický tlak [Pa],

β úhel mezi tlakem celkovým a dynamickým $[\circ]$.

ρ skutečná měrná hmotnost plynu $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$,

ω rychlost proudění média $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$.

Rychlostní sondy jsou napojeny na mikromanometr s vyhodnocením dynamického tlaku spalin (viz. Obr. 2.4). Dynamický tlak se označuje jako část z celkového tlaku, který vzniká v důsledku proudění média v potrubí určitou rychlostí.

Měrná hmotnost spalin je funkcí teploty a tlaku spalin. Hustotu spalin za normálních podmínek můžeme stanovit pomocí tabelárních hodnot jednotlivých složek ve směsi a jejich objemového zastoupení. Pokud známe skutečnou teplotu a tlak spalin, můžeme si dále skutečnou hustotu odvodit taktéž.

Typy rychlostních sond:

Prandtlůva sonda (sonda typu L)

Základním požadavkem při měření je rovnoběžnost osy vstupního otvoru s osou proudění v místě měření. Při měření celkového a statického tlaku se při odklonu osy sondy od směru proudu do $\pm 5^\circ$ velikost naměřených hodnot prakticky nemění. Při měření dynamického tlaku je jeho hodnota stálá až do sklonu $\pm 15^\circ$. Při použití sondy v proudu plynu s vyšší koncentrací tuhých látek může docházet k ucpávání otvoru na odběr tlaku.

Ucpávání vstupního otvoru můžeme omezit vytvořením komůrky v hlavě sondy. Takovou sondu s komůrkou nemůžeme považovat za standartní typ. [1]

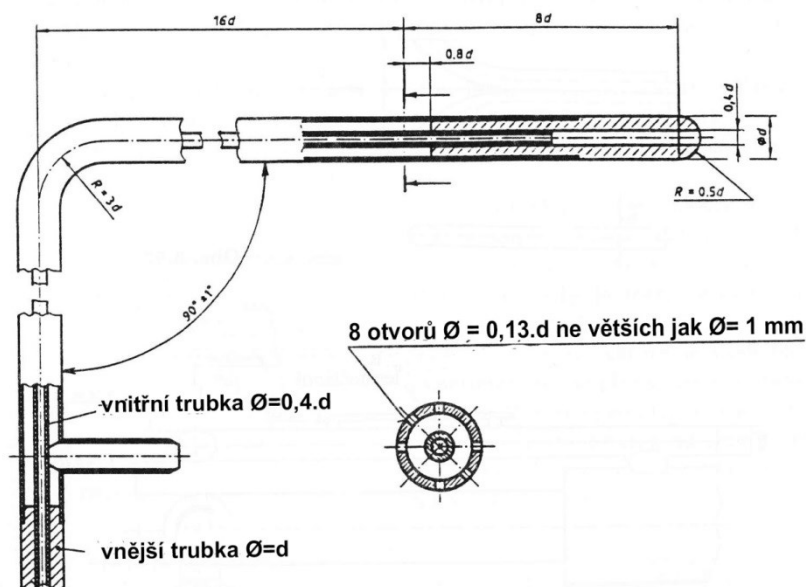
Ze vztahu (1.4) vyplývá pro $\beta = 0^\circ$ rychlost ω [1]:

$$\omega = K \cdot \sqrt{\frac{2(p_C - p_S)}{\rho}} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (1.5)$$

K..... konstanta sondy [-],

$(p_C - p_S)$ tlaková diference [Pa].

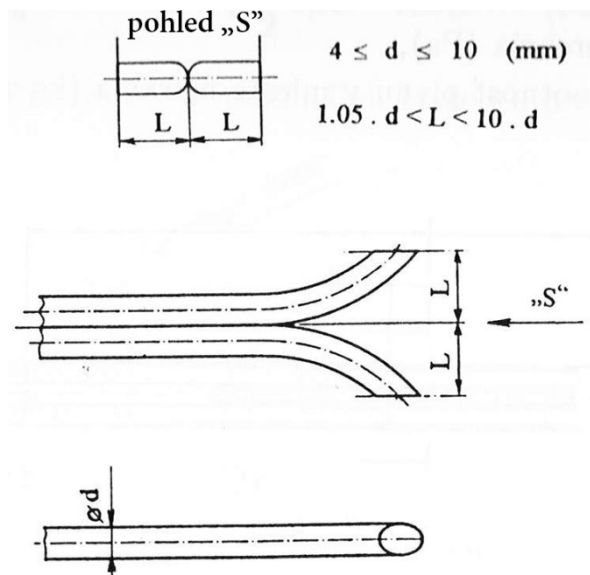
Pokud je sonda vyrobena podle obr. 2.2, je $K = 1$. Nevýhodou této sondy je dlouhá hlava (24krát delší než je průměr trubice), což vyžaduje ve stěně potrubí poměrně velký otvor. Při změně parametrů je třeba konstantu sondy „K“ ověřit experimentálně.



Obr. 2.2 Schéma Prandtlovy trubice s rozměry [1]

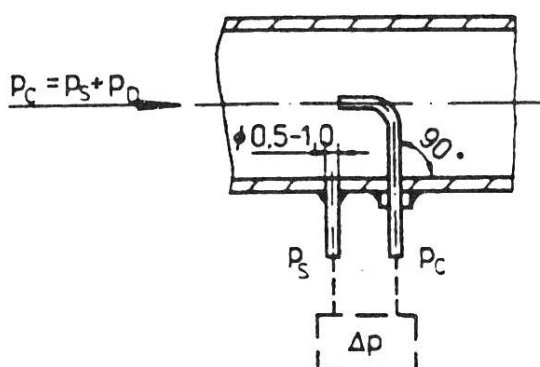
Pitotova sonda typu S

Hlavní výhodou sondy typu S je, že k zasunutí do potrubí je třeba menší otvor než u sondy typu L. Otvory všech typů rychlostních sond sloužící ke snímání tlaku musí mít hladké, pravoúhlé strany bez ořepů vzniklých při vrtání. Tato sonda bude mít konstantu $K = 0,85$ (Obr. 2.3). Rychlost proudění odvodíme stejně jako u vzorce 1.5.



Obr. 2.3 Pitotova sonda typu S s rozměry [1]

Nejjednodušší rychlostní sondou je sonda Pitotova. Nevýhodou použití této sondy je měření celkového a statického tlaku v rozdílných místech. Čím tenčí je stěna Pitotovy trubice, tím je sonda méně citlivá na odklon od směru proudu.



Obr. 2.4 Schéma umístění Pitotovy sondy v kouřovodu [1]

Ke stanovení průtoku je nejvhodnější dlouhý rovinný úsek potrubí s konstantním průřezem. Pokud chceme splnit předpoklady vyrovnaného rychlostního pole, měl by být přímý úsek před místem měření dlouhý $5.D_h$ (hydraulických průměrů) a za místem měření $2.D_h$.

Pokud je místo měření před vyústěním potrubí (komína) do atmosféry, tak $5.D_h$. Při měření v blízkosti ventilátorů je z hlediska stability proudění a intenzity turbulence vždy výhodnější měřit průtok na sací straně.

2.3.2 Vrtulkové anemometry

Tato zařízení nám umožňují měřit přímo rychlost proudění pomocí otáčkoměru, který měří otáčky vrtule, kterou pohání proud měřeného média. Je umístěna s kuličkovými ložisky na hřídeli. Otáčky se přenáší po hřídeli magnetickou spojkou na počítadlo. Pohybem magnetů se indukuje střídavé napětí, jehož frekvence je přímo úměrná rychlosti proudění. Tu pohání proud měřeného média.

Pro použití měření spalin se příliš nehodí z důvodu provozní teploty a agresivních podmínek. Na trhu jsou dostupná zařízení, která jsou konstruována pro měření vzduchu ve ventilacích, takže běžný vrtulkový anemometr by v korozivním a vysokoteplotním prostředí nebyl schopen kontinuálně odebírat hodnoty z kouřovodu. Viz. obr.2.5, vrtulkový anemometr určený pro provozní teploty až do 140°C.



Obr. 2.5 Vrtulkový anemometr FVA915S120

Provedení jsou různá, se zvyšujícím průměrem vrtulky se zvyšuje rozsah měření. Tato sonda je propojena s vyhodnocovacím zařízením jako lze spatřit na obr. 2.6.



Obr. 2.6 Anemometr s teploměrem Extech AN-100 [3]

Toto provedení je velmi kompaktní se zabudovaným měřákem teploty a je také schopno vypočítat objemový průtok.

2.4 Složení spalin

Spaliny z ohnišť obecně tvoří plyny a páry, které vznikly dokonalým nebo nedokonalým spalováním paliva. Také obsahují složky vlhkého spalovacího vzduchu, podílející se ve spalování pasivně, dále přivedený přebytečný atmosférický vzduch a tuhé zbytky po spálení paliv. Složení plynných složek záleží na složení hořlaviny paliva. Spaliny tedy tvoří složky plynné, vodní páru a složky tuhé (popílký, ...).

Ke sledování a optimalizaci procesů je třeba znát koncentraci CO a O_2 . Obsah CO nám indikuje bezpečnost a účinnost spalování, zatímco obsah O_2 přebytek vzduchu po spalování. Nedostatek vzduchu způsobuje vznik sazí (nespálený uhlík), kouře a produkci výbušného CO . Další měření spalin se provádí za účelem sledování emisí CO_2 , NO_x , SO_2 a tuhých částic.

Ke složení a objemovému množství spalin se dá dopátrat přes složení paliva na základě spalovacích rovnic, pokud známe přebytek vzduchu. Tímto způsobem můžeme určit složení spalin s dostatečnou přesností, abychom byli schopni dostat hodnotu hustoty spalin za normálních podmínek.

Další možností je zjištění na základě naměřeného složení ve spalinách. Při dokonalém spalování jsou hlavními složkami O_2 , CO_2 a vlhkost. Obsah CO se zjišťuje na základě spalovacího trojúhelníku podle Ostwalda, který je sestaven pro každé palivo. Při spalování sirnatých paliv je třeba měřit také koncentraci SO_2 . V této kapitole bude vysvětlen způsob měření složek spalin.

2.3.2 Měření koncentrace O_2 paramagnetickou metodou

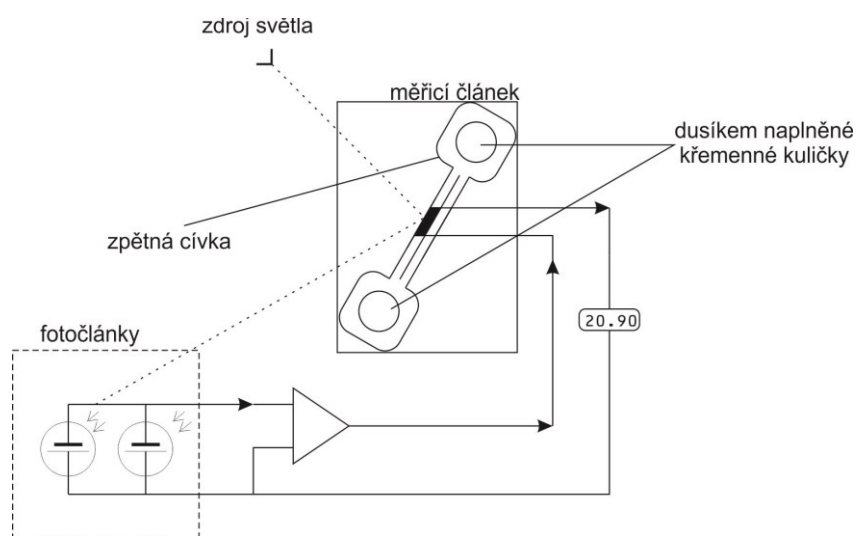
Princip měření koncentrace O_2 spočívá v chování látek v magnetickém poli. Látky diamagnetické jsou od pole odpuzovány, zatímco látky paramagnetické jsou k poli přitahovány. Z plynů má nejvýraznější paramagnetické vlastnosti právě kyslík, méně významné NO , NO_2 a velmi slabé dusík. Jako analyzátory se používají systémy:

- tetromagnetický
- magnetopneumatický
- magnetodynamický

Z hlediska přesnosti a životnosti by se nejvíce osvědčil systém magnetodynamický.

Magnetodynamické analyzátory

Snímacím prvkem analyzátoru je torzní váha tvořená dvěma kuličkami z křemenného skla, naplněné dusíkem a upevněné na svislém závěsu, který stabilizuje polohu podle diamagnetického prvku (kyvadélka) v silném nehomogenickém poli permanentního magnetu. Na kyvadélku je umístěno zrcátko, na které dopadá paprsek světla. Pokud je systém vyvážený, paprsek se odráží na detektor, jehož výstupní signál odpovídá základní úrovni. Okolo kyvadélka je závit z platinového drátu spojený s detektorem – zpětná vazba. Pokud polem proudí vzorek s obsahem O_2 , jsou molekuly O_2 vtahovány do silnější části pole. To způsobí vychýlení kyvadélka. Změna hodnoty registrovaná detektorem způsobí, že platinovým závitem začne téct proud, který kyvadélko udržuje v původní poloze. Intenzita proudu je úměrná obsahu O_2 ve vzorku, viz obr. 2.7. [1]



Obr. 2.7 Schéma magnetodynamického analyzátoru koncentrace O_2 [1]

Další možnou metodou měření je za použití zirkoniové sondy voltametrickou metodou. Jako elektrolyt se používá porézní vrstva z oxidu zirkoničitého (ZrO_2), který je pokryt vrstvičkou platiny. Přes porézní elektrolyt proniká kyslík ze strany nejnižšího parciálního tlaku na stranu tlaku nižšího. Při ohřátí elektrolytické vrstvy na $850^\circ C$ ionty kyslíku (O^{2-}), tvořící se v důsledku katalytického účinku platiny, odevzdají volné elektrony, které vytvoří měřitelný elektrický proud.

2.3.2 Měření koncentrace SO_2

K měření obsahu SO_2 se používají tyto analyzátory:

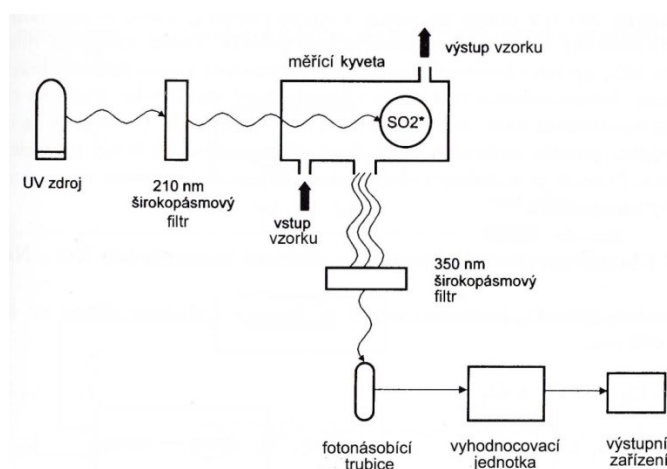
- Analyzátory s voltametrickými (elektrochemickými) snímači
- Fluorescenční analyzátory
- Infračervené spektroskopické analyzátory

Princip analyzátorů s voltametrickými snímači

V kompaktních přenosných analyzátozech se používají metody voltametrické. Princip je založen na tomto procesu. Nejdříve proběhne difuze měřené složky plynu přes selektivní propustnou membránu, dále se plyn rozpustí v tenké vrstvě kapalinového filmu, přes který probíhá difuze molekul. Na pracovní elektrodě probíhá oxidačně-redukční reakce, během toho na pomocnou elektrodu dopadají volné elektrony (náboj). Koncentrace měřené složky je přímo úměrná proudu, který generuje elektroda.

Princip fluorescenční metody měření koncentrace SO_2

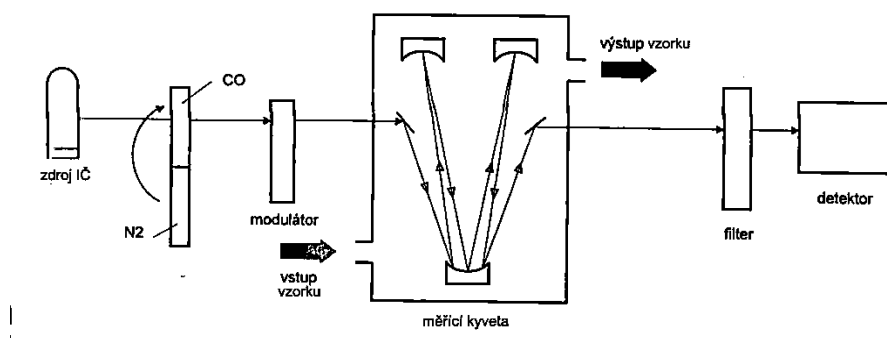
Fluorescence je fotoluminiscenční jev, kdy je elektromagnetické vlnění o jedné vlnové délce absorbováno a při jiné vlnové délce emitováno. Molekula zůstává v excitovaném stavu po dobu 10^{-4} až 10^{-8} sekundy. Po ztrátě energie se molekula dostane do nejnižšího energetického stavu, přičemž je vyzářené světlo. UV záření se z kontinuálního nebo pulzujícího zdroje filtruje v blízké oblasti okolo 210 nm, poté je tento paprsek UV záření soustředěn do měřicí kyvety, kde přivádí molekuly SO_2 do excitovaného stavu. Záření se měří v pravém úhlu ke kyvetě pomocí fotonásobící trubice nebo jiným detektorem. Širokopásmový filtr se použije pro výběr spektra v intervalu 310 až 370 nm. [1]



Obr. 2.8 Funkční schéma fluorescenčního analyzátoru [1]

Princip Infračervené spektroskopické metody

Používá se několik systému, které využívají absorpci infračerveného záření. Jeden z nich je systém GFC (Gas – Filter – Correlation). Korelační tělísko (kolečko) rotuje v prostoru mezi zdrojem IČ záření a měřicí kyvetou. Skládá se ze dvou půlkruhových segmentů, ve kterých je jedna uzavřená kyveta naplněná dusíkem a druhá směsí měřeného plynu a dusíku. Detektor za kyvetou střídavě zaznamenává signál zdroje tlumený přechodem přes segmenty korelačního kolečka a měřeným vzorkem v kyvetě. Měřicí segment je naplněn směsí CO + N₂. Energie měřeného paprsku se absorbuje molekulami CO v korelačním kolečku a molekulami měřeného vzorku. Podstatou je to, že celá energie absorbovatelná CO je odfiltrována přechodem přes korelační kolečko. V kyvetě už dochází pouze k absorpci jinými molekulami, jako je CO.



Obr. 2.9 Funkční schéma GFC analyzátoru [1]

2.3.2 Měření koncentrace NO a NO_x

Základní metody jsou:

- Analyzátory s voltametrickými snímači
- Chemiluminiscenční analyzátory
- Infračervené spektroskopické analyzátory

Princip voltametrických a IČ spektroskopických analyzátorů jsme si uvedli již výše. Chemiluminiscenční metoda principiálně funguje takto. Při reakci NO s O₃ (ozón) vzniká IČ záření s vlnovou délkou od 500 do 3000 nm. Reakcí se vytvářejí excitované molekuly NO₂, které vyzařují přebytečnou energii ve formě fotonů. Intenzita vznikajícího záření je přímo úměrná koncentraci NO.

3 Volba měřicího profilu a měřicích míst podle ČSN ISO 9096

V první řadě je třeba zvolit měřicí profil a počet měřicích míst k určení průměrné teploty spalin. Pro volbu měřicího profilu a počtu měřicích míst se řídíme normou ČSN ISO 9096. Volba umístění měřicího profilu záleží na konstrukci kouřovodu a je třeba dbát na to, aby měřený profil byl umístěn v přímém úseku potrubí stejného průřezu a co nejdále od veškerých překážek, které zapříčiní turbulence a změny prodění spalin. Délky přímých úseků a vzdáleností jsou udávány v násobcích hydraulického průměru potrubí.

Hydraulický průměr D_H :

$$D_H = \frac{4 \times \text{plocha měřicího profilu}}{\text{obvod měřicího profilu}} \quad [\text{m}] \quad (1.6)$$

Minimální počet měřicích bodů je dán rozměry měřicího profilu. Platí, že čím větší je plocha průřezu, musí být zvolen větší počet měřicích míst. Rozlišujeme kouřovody z hlediska tvaru na kouřovody kruhového průřezu a kouřovody čtyřhranného průřezu.

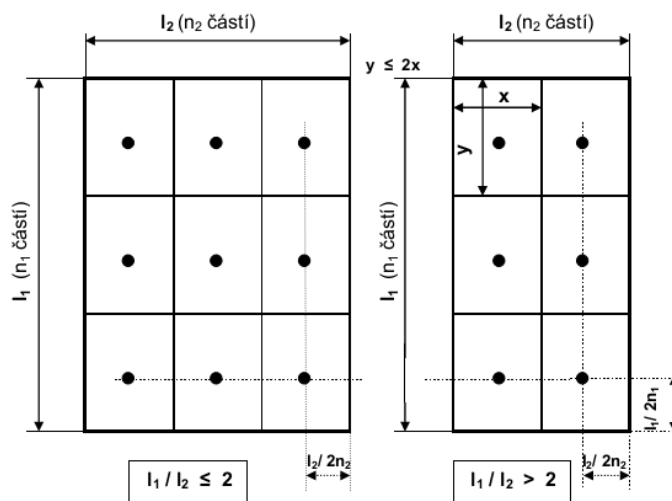
Plocha měřicího profilu [m ²]	Průměr potrubí [m]	Minimální počet vzorkovacích přímk	Minimální počet vzorkovacích bodů na průměr		Minimální počet vzorkovacích bodů na průřez	
			střední bod		střední bod	
			zahrnut	nezahrnut	zahrnut	nezahrnut
< 0,09	< 0,35	-	1	-	1	-
0,09 až 0,38	0,35 až 0,70	2	3	2	5	4
0,38 až 0,79	0,70 až 1,00	2	5	4	9	8
0,79 až 3,14	1,00 až 2,00	2	7	6	13	12
> 3,14	> 2,00	2	9	8	17	16

Tab. 1.5 Minimální počet měřicích bodů pro potrubí kruhového průřezu [5]

Plocha měřicího profilu [m ²]	Minimální počet vzorkovacích přímk	Minimální počet vzorkovacích bodů
< 0,09	-	1
0,09 až 0,38	2	4
0,38 až 1,50	3	9
> 1,50	4	16

Tab. 1.6 Minimální počet měřicích bodů pro potrubí čtyřhranného průřezu [5]

Pro rozmístění měřicích bodů v potrubí kruhového, nebo čtyřhranného průřezu platí zásady uvedené v příloze B normy ČSN ISO 9096, viz obr 3.1.



Obr. 3.1 Rozmístění měřících bodů pro čtyřhranný průřez [5]

3.1 Stanovení množství a umístění měřících míst

Rozměry kouřovodu jsou 1300 x 1400 mm. Dle normy ČSN ISO 9096 stanovují minimální počet měřících míst pro rozměry kouřovodu.

$$S_k = a \cdot b = 1,3 \cdot 1,4 = 1,82 \text{ m}^2(1.6)$$

S_k obsah plochy průřezu kouřovodu [m^2]

Dle tab. 1.6 určíme:

Minimální počet měřících přímk: 4

Minimální počet měřících bodů: 16

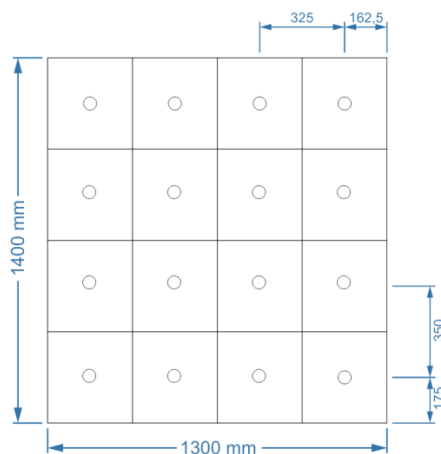
Umístění měřících míst dle obr. 3.1:

$$1300 \div 4 = 325 \text{ mm}$$

$$325 \div 2 = 162,5 \text{ mm}$$

$$1400 \div 4 = 350 \text{ mm}$$

$$350 \div 2 = 175 \text{ mm}$$



Obr. 3.2 Schéma umístění měřících bodů v průřezu kouřovodu

3.2 Stanovení průměrné teploty z naměřených hodnot

Vztah pro stanovení aritmetického průměru teplot spalin:

$$t_{sp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1.7)$$

n počet měřících míst [-]

t_i teplota v jednom měřícím bodě [$^{\circ}\text{C}$]

4 Návrh systému kontinuálního měření teplot v kouřovodu

V této kapitole navrhuji kompletní systém pro odebírání teplot z kouřovodu zadaných parametrů. Kouřovod kotle je obdélníkového průřezu s rozměry 1300 x 1400 mm. Cílem bude katalog částí potřebných ke zprovoznění systému včetně cen dle nabídky.

4.1 Měřicí ústředna

K záznamu a vyhodnocení dat z čidel budeme potřebovat měřicí ústřednu. Měřicí ústředny jsou univerzální moduly určeny ke sběru dat řízené programem z PC. Mohou se lišit počtem kanálů s univerzálními vstupy, vzorkovací frekvencí snímaného signálu, použitím, které snímače ústředny podporují apod. Mezi nejznámější výrobce dostupné u nás patří společnosti, jako jsou Comet System s.r.o., HBM měřicí technika s.r.o., AHLBORN.

Uplatnění naleznou v mnoha odvětvích. Nejčastěji jsou používány pro tyto případy:

- transfúzní stanice, lékárny
- skladové hospodářství
- vytápění, ventilace, klimatizace, chlazení

Ústřednu volím z hlediska dostupnosti informací o systému a cenách na webu. Také je třeba zohlednit univerzálnost použití a podporu produktu. Z těchto ohledů volím monitorovací systém s měřicí ústřednou MS55D firmy Comet System s.r.o..

4.2.1 *Technické údaje o měřicí ústředně MS55D*

Tato ústředna nabízí řešení pro monitorování teploty, vlhkosti a dalších veličin. Data loggery jsou navrženy pro měření, vyhodnocení a následné zpracování vstupních elektrických signálů. Počet digitálních vstupů této ústředny je 16, takže vyhovuje našim potřebám. Tato ústředna umožňuje signalizaci prostřednictvím zvukového alarmu, upozornění přes mobilní síť, emailem nebo přes GSM modem. Přes její výstupní modul lze řídit ostatní zařízení. Prostřednictvím ETHERNET sítě lze zapojit paralelně více ústředen, které mezi sebou budou schopny komunikovat a porovnávat data. Bližší specifikace a schéma zapojení sítě ústředen lze spatřit na webových stránkách. [6]

Produkt zahrnuje:

- Volně šiřitelný software, který umožňuje provádět základní konfigurace, načítat zaznamenané hodnoty a zobrazovat hodnoty na vstupních kanálech. Načtené hodnoty lze exportovat nebo tisknout. Podporuje komunikaci po seriové lince RS232, RS2485, USB, po síti ETHERNET. Tato verze nepodporuje grafy, za rozšířenou verzi SW je třeba si připlatit.
- Kalibrační list
- USB kabel pro připojení do PC, baterii s adaptérem



Obr. 3.3 Zapojená ústředna MS55D ve skříní [6]

Měřené hodnoty pro vstupní signál dataloggeru:

- Elektrický proud (DC, AC)
- Elektrické napětí (DC, AC)
- Elektrický odpor
- Teplotní sondy Pt, Ni
- Termočlánky

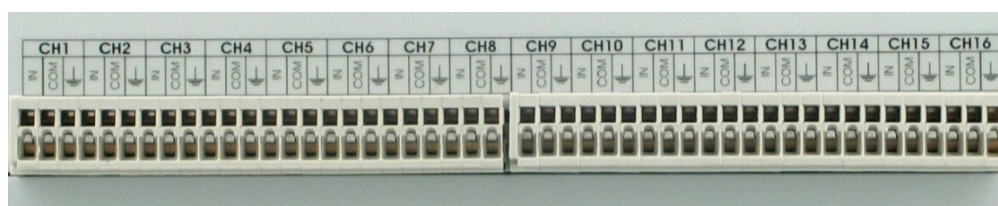
Typ	Použití	Přesnost
K (NiCr-Ni)	-70°C - +1300°C	±0.3% MH + 1.5°C
T (Cu-CuNi)	-200°C - +400°C	
J (Fe-Co)	-200°C - 750°C	
S (Pt10%Rh-Pt)	0°C - 1700°C	±0.3% MH +1.5°C(200°C - 1700°C)
B (Pt30%Rh-Pt)	100°C - 1800°C	±0.3% MH+1.0°C (300°C - 1800°C)

Tab. 1.7 Podporované termočlánky ústřednou MS55D [7]

- Binární signál
- Pulzní čítač
- Frekvence
- RS485 (vstupní signál pro digitální přenos)



Obr. 3.5 Komunikační rozhraní [6]



Obr. 3.6 Vstupy signálu [6]

Z webového zdroje, obchodu APOELMOS v.o.s. Nová páka [9] můžeme určit cenu takovéto ústředny. Její částka činí 18 980 Kč, se základním vybavením.

4.2 Návrh termočlánků

Měření termočlánky probíhá dle normy pro síťové měření spalin. Pro měření volím termočlánek typu K (Ni-Cr), protože vyhovuje našim podmínkám a je cenově lépe dostupný, než vysokoteplotní termočlánky typu S, B.

Na obr. 3.7 vidíme provedení termočlánku, velmi odolné vůči abrazi a korozi. Je otevřený s volnými konci drátů a dvojitou izolací TFE. Vedení je určeno do pracovních podmínek do 260 °C.



Obr. 3.7 Provedení termočlánku [7]

Ve stěnách kouřovodu budou navrtány kruhové otvory pro ocelové trubky o průměru 20 mm. Tyto trubky budou umístěny tak, aby procházely měřicími body, jako na obr. 3.2. Jsou nosičem a ochranným pouzdem pro dráty termočlánků. Provedení můžeme spatřit na obr. 3.8. Uchycení je realizováno šrouby s maticemi a podložkami. Celá sonda musí být utěsněna, aby nedocházelo k přísávání okolního vzduchu do kouřovodu. Cena provedení se odvíjí od délky sondy a požadované přesnosti.

Z katalogu dostupného na webu jsem byl schopen určit částku za jeden termočlánek. Termočlánekový drát je o průměru 0,8 mm a délce vedení 15 m. V katalogu nese označení TFE-K-20-50. [7]

Cena jednoho termočlánku je 1740 Kč.

4.2.1 Upevnění termočlánků

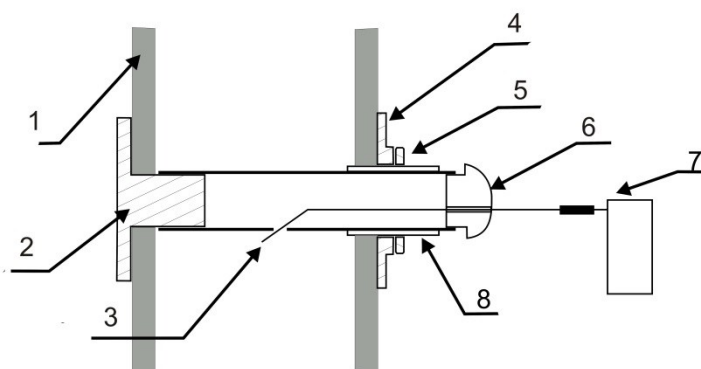
Termočlánky se umístí do nerezové trubek odolávající extrémním podmínkám, které jsou upevněny na stěnu kouřovodu systémem závitů. Montáž neprobíhá za provozu, kouřovod se nejdříve odizoluje a následně se vyřeže nutná plocha plechu kouřovodu. Do tohoto plechu jsou vyvrtány díry a navařeny příruby. Konstrukce je dimenzována pro dlouhodobé použití. Pokud bude třeba vyměnit termočlánky, nosič lze rozebrat.

Nosičem termočlánků je svařovaná nerezová trubka z oceli s označením AISI 321. Je bez povrchové úpravy zevnitř i z vnějšku. V katalogu je dostupný rozměr 20x2 s vnitřním rozměrem 16 mm. Výrobní délka je 6 m, což nám vystačí k nařezání čtyř identických trubek, vyhovujících rozměrům kouřovodu, následně se do nich odvrtají otvory pro termočlánky. Cena za šest metrů je zhruba 880 Kč. [10]

Nosič se musí nějakým způsobem upevnit na stěny kouřovodu. Toto bude realizováno přírubou se závitem DN-20 (3/4") dle DIN 2566. Příruba bude přímo navařena koutovým svarem na vnější stranu stěny kouřovodu. Cena takové příruby je 112 Kč. [11]

Abychom byli schopni nosič upevnit na matici, je třeba vytvořit závit. To je možno realizovat navařením závitové trubky na trubku nosiče. Použijeme závitovou prodlužovací trubku nerezovou s vnějšími závity, INOX 3/4"x100mm. Tato trubka je ukončena závity po obou stranách, nám vystačí závit jeden, proto trubku rozřežeme na 2 části. Následně tyto části navaříme koutovým svarem na oba konce trubky nosiče. Pro oba konce, včetně svařování a řezání můžeme počítat částku 207 Kč. [12] Druhá strana trubky může být pouze zavěšena na nerezovém kolíku o průměru vnitřního průměru trubky nosiče, jedná se o kulatinu materiálu AISI 321, průměru 16 mm, délky 1 m. Pro zakotvení jednoho nosiče bude zapotřebí délky 100 mm. Cena 350 Kč.

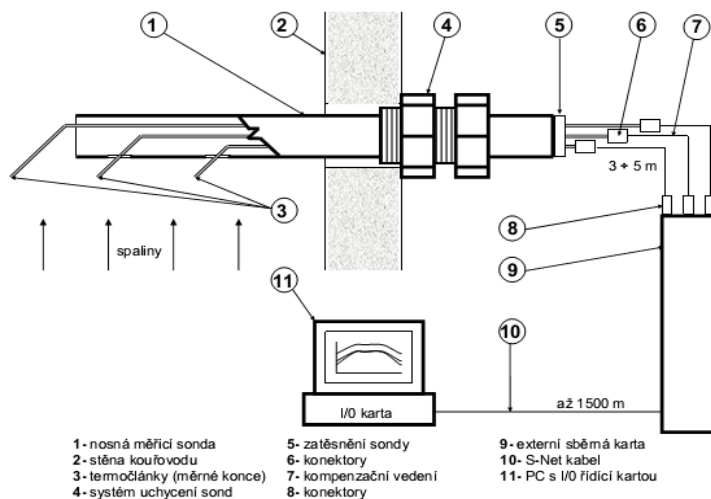
Závit mezi nosičem bude utěsněn gumovou podložkou na šestihranné matici. Cena 48 Kč. [12] Nyní už zbývá pouze zatěsnit trubku. Můžeme ji zapouzdit nerezovým víčkem s vnitřním závitem, do kterého se navrtají otvory pro dráty termočlánků. Cena 41 Kč. Následně použijeme tmel na zatěsnění, aby nedocházelo k průniku vzduchu z okolí do kouřovodu.



Obr. 3.8 Schéma konstrukčního řešení

(1 – stěna kouřovodu, 2 – kolík na zavěšení nosiče, 3 – termočlánek, 4 – příruba se závitem, 5 – matice s těsněním, 6 – Pouzdro nosiče, 7 – datový sběrač, 8 – závitová trubka)

Také tímto způsobem mohou být upevněny nosiče termočlánků:



Obr. 3.9 Umístění a upevnění termočlánků [8]

4.3 Finanční zhodnocení návrhu

Jedním z výstupů této bakalářské práce je finanční hodnota, která je sumou cen všech položek nutných k realizaci měřicího systému. Informace byly čerpány z aktuální nabídky, kterou lze nalézt na webových stránkách (viz. Seznam použité literatury). Uživatel spalovacího zařízení tak má přehled o investičních nákladech pro navrhovaný měřicí systém.

V celkové ceně návrhu není započítáno:

- Montáž zařízení do kouřovodu
- Instalace a kalibrace dodaného systému "
- Daň z přidané hodnoty

Seznam důležitých položek pro sestavení měřicího systému můžeme spatřit v tabulce 1.8. Součet všech těchto položek činí 53 358 Kč.

Číslo položky	Název položky	Počet kusů	Cena bez DPH [Kč]
1	Trubka svařovaná Ø20x2x6000	1	880
2	Příruba DN-20 (3/4")	4	448
3	Matice G 3/4" s těsněním	4	192
4	Tyč AISI 321 Ø16x1000	1	350
5	Tmel na zatěsnění pouzdra	1	300
6	Teflonový tmel na zatěsnění závitů	1	200
7	Termočlánek TFE-K-20-50	16	27 840
8	Měřicí ústředna MS55D	1	18 980
9	Skříň s krytím IP65 s držáky na zeď a držáky ústředny	1	1 606
10	Kabeláž (napájení, analog. vedení)	-	500
11	COMET A5948 - spínaný napájecí zdroj	1	1 862
12	Plastové lišty na kabeláž	10 m	200
Celkem			53 358

Tab. 1.8 Seznam položek s popisem ceny

Závěr

V práci jsem popsal celou problematiku určení teploty v kouřovodech větších rozměrů. Výsledkem práce je návrh systému síťového měření teplot, který zachycuje jak řešení uchycení čidel v kouřovodu, tak výběr dílů vhodných pro realizaci měřicího systému. U všeho jsem uvedl ceny, zhruba odpovídají reálné situaci, pokud by bylo třeba stanovit finanční hodnotu pro takovýto systém. Součet všech položek je zobrazen v tabulce, ve které je uvedena také suma celé realizace.

Pro daný rozměr kouřovodu jsem určil, že je třeba 16 měřících míst, které jsou stanoveny v souladu s normou ČSN ISO 9096. Měřicí systém vhodný do provozních podmínek by byl realizován ústřednou výrobcem Comet Systems s.r.o.. Vybral jsem měřicí sondy od výrobce Omega Engineering. Jedná se o termočlánky typu K v otevřeném provedení. Tyto čidla jsou ekonomicky dostupná a také vyhovují našim potřebám. Další hlavní položkou mého návrhu je uchycení čidel. Návrh nosné konstrukce termočlánků v kouřovodu lze provést mnoha způsoby, od kterých se také odvíjí cena. Záleží na kvalitě provedení z hlediska odolnosti vůči teplotnímu zatížení a korozním podmínkám. Nosič termočlánků by byl zhotoven z oceli odolné na korozi i oxidaci, která je určena do vysokých teplot, až 1500 °C. Cena tohoto provedení bude vyšší, jelikož nepočítám s DPH a částkou za montážní práce. Po sečtení cen všech dílů potřebných k sestavení měřicího systému se suma dostala až na hodnotu 53 358 Kč.

Měřicí systémy jsou dnes bezesporu nezbytnou součástí každého energetického zařízení, ať už se jedná o tepelné výměníky nebo spalovací zařízení. Je třeba mít aktuální informace o provozu zařízení, aby nedocházelo k poškození a snižování účinnosti. Můžeme říci, že se cena, kterou provozovatel zaplatí za tyto měřicí systémy, v budoucnu několikanásobně vrátí.

Seznam použité literatury

- [1] RAJNIAK, I.: *Tepelno energetické a emisné merania*. Ister science, Bratislava 1997, ISBN 80-88683-20-3. [cit. 2014-05-15]
- [2] *Účinnost spalovacích zařízení*, Výukový materiál pro předmět: Spalování a spalovací zařízení. Prof. Ing. Pavel Noskovič, CSc.. [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/ucinnost.pdf>
- [3] Conrad Electronic Österreich, Produkt z katalogu. [online]. Dostupné z: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/123229-an-01-cs-Diferencni_manometr.pdf
- [4] Zehnula K.: *Snímače neelektrických veličin*, SNTL Praha, 1986, 371 s. [cit. 2014-05-15].
- [5] ČSN EN ISO 9096. *Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí - Manuální gravimetrická metoda*. 1998.
- [6] COMET SYSTEM, s.r.o., Měřicí technika. [online]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/products/monitoring-systems/ms55d-datalogger/reg-MS55D>
- [7] Jakar Electronics, spol s.r.o. [online]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=t3probes&nav=tema14>
- [8] VÝTISK, Tomáš; JANALÍK, Radim; KOLÁT, Pavel. *Metodika stanovení teploty spalín na výstupu z kotlů*, výzkumná zpráva. Ostrava: VŠB – TUO, Fakulta strojní 2013.
- [9] APOELMOS, measurement & control. [online]. Dostupné z: <http://www.apoelmos.cz/products/zapisovace-a-merici-ustredny-106000/ms55d-merici-a-zaznamova-ustredna/>
- [10] ARMAT, spol. s.r.o.. [online]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/nerezove-trubky-svarovane.pdf>
- [11] GAS a.s., Velkoobchod topenářského a vodárenského materiálu. [online]. Dostupné z: [http://www.gas-as.cz/detail60902/zavitove/priruba-se-zavitem-dn-20-\(3/4\)-pn-16-\(dle-din-2566\)---](http://www.gas-as.cz/detail60902/zavitove/priruba-se-zavitem-dn-20-(3/4)-pn-16-(dle-din-2566)---)

[12] AKVINA Servis, s.r.o.. [online]. Dostupné z: <http://akvinaservis.cz/Nerezove-tvarovky/Zavitova-prodluzovaci-trubka-nerezova-NEREZ-vnejsi-zavity-INOX-3-4-x100mm.html>